



ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgf>



Balanço Hídrico e Mudanças Climáticas no Semiárido Pernambucano: aplicabilidade do Sistema de Unidades de Respostas Hidrológicas para Pernambuco (SUPER)

Igor Maciel Tibúrcio¹, Nara Tôrres Silveira², Tayran Oliveira dos Santos³, Rodrigo de Queiroga Miranda⁴, Josicléda Domiciano Galvêncio⁵

¹ Graduando em Geografia pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), igor.tiburcio@ufpe.br (autor correspondente) ²Doutoranda em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA) pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), nara.torres@ufpe.br ³Mestranda em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA) pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), tayran.oliveira@ufpe.br ⁴ Post Doctoral pela Guelph University, rdequeir@uoguelph.ca ⁵Professora do Departamento de Ciências Geográficas e do Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA) pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Bolsista de pesquisa do CNPq, josicleda.galvencio@ufpe.br

Artigo recebido em 07/04/2023 e aceito em 14/06/2023.

RESUMO

Os cenários de mudanças climáticas se mostram cada vez mais severos, e se apresentam ainda mais intensos para regiões como o semiárido nordestino. O presente estudo buscou analisar os cenários de mudanças climáticas e seus impactos em uma pequena bacia hidrográfica no semiárido pernambucano. Os cenários de alterações na precipitação e temperatura foram simulados utilizando Sistema de Unidades de Respostas Hidrológicas para Pernambuco (SUPER) que conta com um gerador climático que permite simular mudanças climáticas dentro de uma série histórica, os dados dentro do sistema SUPER foram gerados através do modelo SWAT--Soil Water Assessment Tools. Os dados obtidos para os cenários apontam para uma redução significativa na disponibilidade hídrica na bacia, com redução do fluxo de base e aumento da perda por evapotranspiração em todos os nove cenários analisados, o que é um grande impacto, pois trata-se de uma região onde já há um déficit hídrico.

Palavras-chave: Balanço hídrico, Mudanças climáticas, Semiárido.

Water Balance and Climate Change in the Semi-arid region of Pernambuco: applicability of the System of Hydrological Response Units for Pernambuco (SUPER)

ABSTRACT

Climate change scenarios are increasingly severe, and are even more intense for regions such as the semi-arid northeast. This study aimed to analyze the scenarios of climate change and its impacts in a small watershed in the semi-arid region of Pernambuco. The scenarios of changes in precipitation and temperature were simulated using Hydrological Response Units System for Pernambuco (super) which has a climate generator that allows to simulate climate change within a historical series, data within the super system was generated through the SWAT--Soil Water Assessment Tools. The data obtained for the scenarios point to a significant reduction in water availability in the basin, with reduction of the base flow and increase of the loss by evapotranspiration in all nine scenarios analyzed, which is a great impact, region where there is already a water deficit.

Keywords: Water balance, Climate change, Semi-arid.

Introdução

O sexto relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC) aponta que as mudanças climáticas têm afetado todo o mundo, com um aumento de 1,1°C na temperatura global (IPCC, 2022). Galvêncio (2019) reforça que as alterações climáticas modificam os padrões de temperatura e precipitação, impactando os processos hidrológicos e, por consequência, interferindo no desenvolvimento da sociedade e na manutenção dos ecossistemas.

Como consequência do aquecimento global tem-se aumentado a frequência, intensidade e duração de eventos extremos, como ondas de calor, expansão de zonas de clima árido, períodos de secas em algumas regiões e aumento na intensidade pluviométrica numa escala global. Os aumentos na frequência e intensidade destes eventos climáticos têm afetado negativamente os ecossistemas, trazendo consequências diversas, sobretudo em regiões já se encontram em vulnerabilidade (IPCC, 2022), como é o caso do semiárido brasileiro.

O Semiárido abrange 1427 municípios nos estados do Sergipe, Alagoas, Bahia, Pernambuco, Piauí, Paraíba, Ceará, Rio Grande do Norte, Minas Gerais e Espírito Santo, totalizando 982.563 km² (SUDENE, 2021). As condições climáticas nesta região se caracterizam por elevadas temperaturas, altas taxas de evapotranspiração, grande variabilidade pluviométrica, com uma curta quadra chuvosa, acarretando em baixos índices de disponibilidade de água (ANA, 2019). Além disso, a região semiárida, que já enfrenta problemas hídricos há bastante tempo, é conhecida pelos eventos extremos, sejam estes de secas intensas ou de altos índices de pluviosidade, que se configuram como um dos principais desastres climáticos, em razão das grandes perdas sociais e econômicas que ocasionam (Carmo e Lima, 2020).

Tais aspectos somados às pressões causadas pelas interferências antrópicas e intensa degradação ambiental, aumentam a vulnerabilidade da região, já que a Caatinga, o bioma típico da região semiárida, detém cerca de 80% da sua área modificada pela ação humana (Angelotti et al., 2015). Nos últimos anos, o episódio de seca que ocorreu entre 2012 a 2017,

considerado o maior dos últimos 100 anos, acentuou a vulnerabilidade das regiões semiáridas, sobretudo no que tange os sistemas hídricos, com diversas cidades em situação de colapso hídrico (Dias et al., 2022), reforçando a necessidade de uma gestão efetiva dos recursos hídricos, visando a garantia da segurança hídrica na região.

O estado de Pernambuco é considerado como um dos mais vulneráveis aos eventos extremos, por possuir grande porção das áreas sujeitas a desertificação e com regiões abaixo do nível do mar (Reis Neto et al., 2018). A Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC), nos últimos anos, tem aplicado a modelagem hidrológica como instrumento de gestão dos recursos hídricos, no que se refere à análise da disponibilidade hídrica do Estado, além da simulação dos cenários de mudanças climáticas. Os modelos hidrológicos surgem como uma alternativa

Neste contexto, há uma necessidade do desenvolvimento de pesquisas que busquem investigar quais os efeitos que as mudanças climáticas podem causar na disponibilidade hídrica no semiárido nordestino, contribuindo assim para uma gestão mais efetiva dos recursos hídricos. Logo, o presente trabalho objetiva analisar cenários de alterações climáticas e seus impactos no balanço hídrico em uma bacia hidrográfica do semiárido pernambucano, utilizando o Sistema de Unidades de Resposta Hidrológica para Pernambuco (SUPER) onde serão obtidos dados estimados do balanço hídrico, assim permitindo fazer análises atuais e de possíveis cenários futuros do balanço hídrico.

Material e métodos

Área de Estudo

A bacia hidrográfica do riacho amolar possui uma área de 210,48 km² e está situada no semiárido pernambucano, entre os municípios de Cedro e Serrita (Figura 1), com população estimada em 11.972 e 19.226 habitantes, nesta ordem (IBGE, 2021). O clima da região é o Bsh pela classificação climática Köppen-Geiger, com média de precipitação de 691 mm e temperatura média anual de 25 °C.

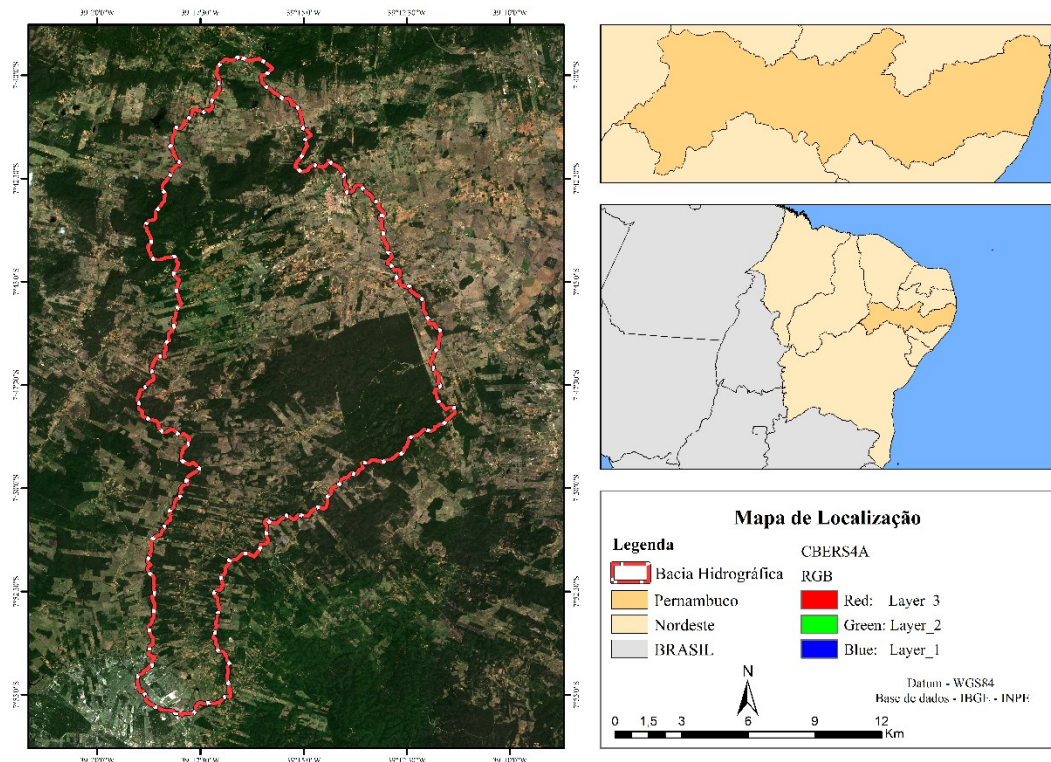


Figura 1. Localização da bacia hidrográfica do riacho Amolar. Fonte: Os autores (2023).

Os solos predominantes na região são os neossolos, seguidos pelos argissolos e algumas áreas de vertissolos, com vegetação do tipo caatinga. As principais atividades econômicas desenvolvidas na área estão relacionadas à agropecuária, com destaque para hortifruticultura, caprinovinocultura, bovinocultura e suinocultura, com potencialidades para a pecuária leiteira (PERNAMBUCO, 2017). As potencialidades de desenvolvimento nos municípios se dão pelo aumento da oferta de água, em razão do projeto de Integração do Rio São Francisco com Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional (PISF), já que a área está situada no Eixo Norte do PISF.

Aplicabilidade do Sistema de Unidades de Resposta Hidrológica de Pernambuco (SUPER)

O SUPER (Sistema de Unidade de Respostas Hidrológicas para Pernambuco) é um sistema que permite a análise de bacias hidrográficas para o Estado de Pernambuco, capaz de realizar grandes cálculos e trabalhar com um robusto número de dados estimados para as variáveis. Neste sistema, há a possibilidade de estudos de modelagem da quantidade e qualidade

da água, além de avaliação da poluição hídrica, manejo do solo e mudanças climáticas (Galvêncio, 2021).

Para o desenvolvimento de cenários e projetos no SUPER, pode-se optar por trabalhar em escalas de bacias hidrográficas ou sub bacias (pequenas bacias). Neste estudo, a área de estudo foi a sub bacia 1, inserida na bacia hidrográfica do rio Terra Nova. A escolha dessa sub-bacia se deu devido à bacia ter alto uso agrícola. Após a delimitação da área, o período analisado foi escolhido, utilizando o banco de dados completo, de janeiro de 1961 a março de 2021, apresentado na Figura 2.

Após a criação do projeto, foi aplicada a ferramenta de *Climate sensitivity/variability analysis*, que permite a análise do comportamento da série histórica, com o desenvolvimento de cenários de mudanças climáticas, a precipitação é ajustada percentualmente, enquanto a temperatura pode ser ajustada utilizando valores em graus Celsius (°C), conforme demonstrado na Figura 3.

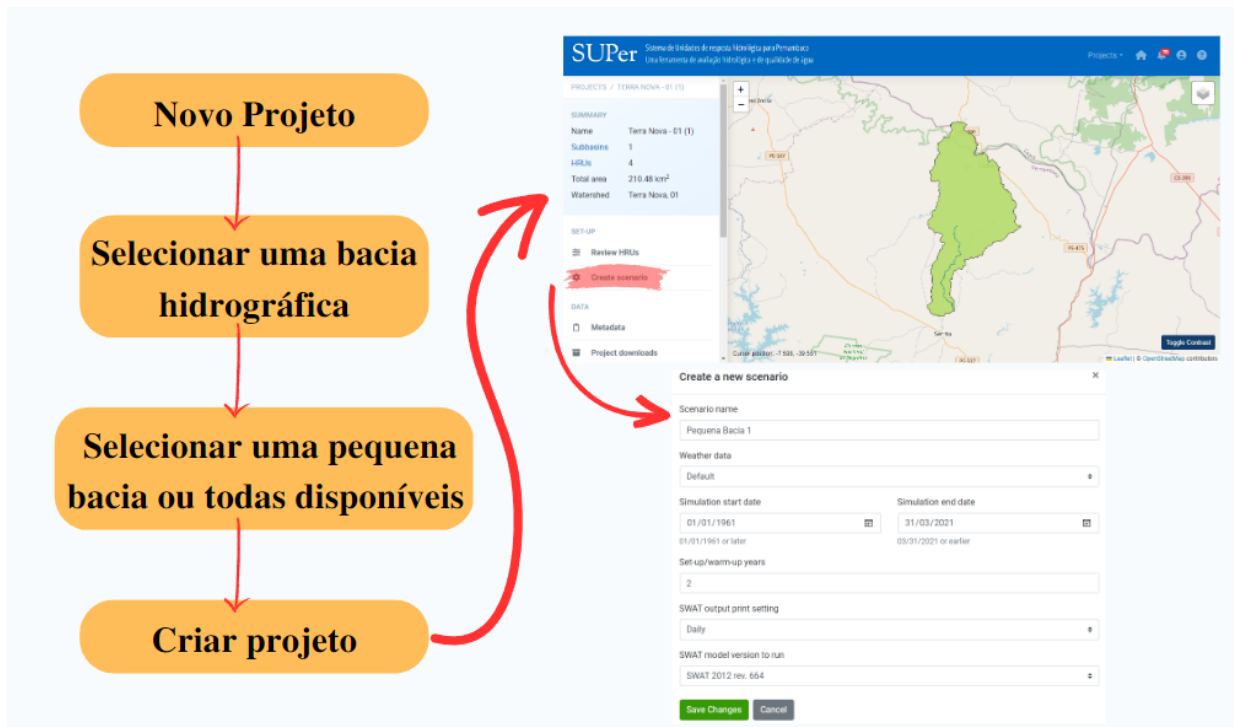


Figura 2. Fluxograma do SUPER.

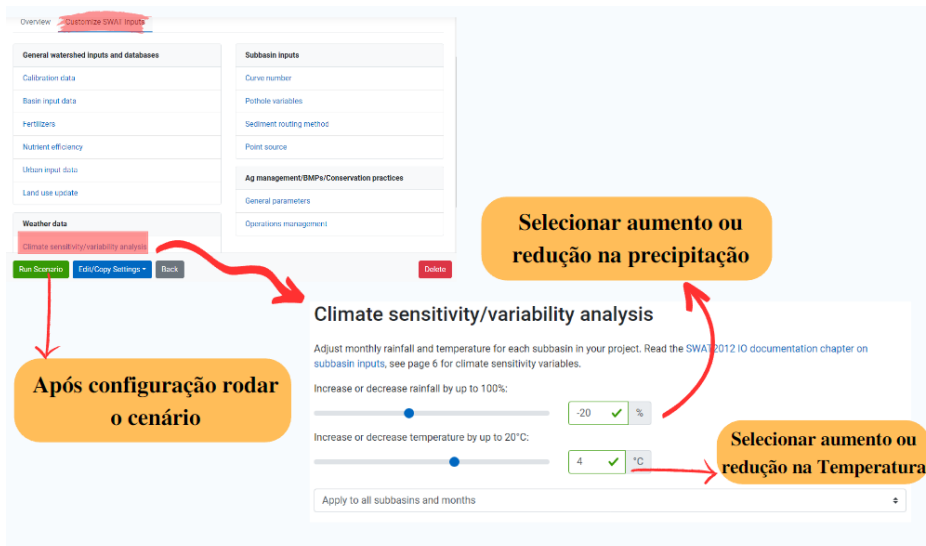


Figura 3. Delimitação das alterações climáticas.

As variáveis de temperatura (equação 1) e precipitação (equação 2) são estimadas por meio das equações a seguir:

$$T_{hr} = T_{av} + \frac{(T_{mx} - T_{mn})}{2} \cdot \cos(0.2618 \cdot (hr - 15)) \quad (1)$$

Em que, T_{hr} é temperatura do ar durante a hr do dia ($^{\circ}\text{C}$), T_{av} é a temperatura média no dia ($^{\circ}\text{C}$), T_{mx} é a temperatura máxima diária ($^{\circ}\text{C}$) e T_{mn} é a temperatura mínima diária ($^{\circ}\text{C}$).

$$R_{day} = \mu_{mon} + 2 \cdot \sigma_{mon} \cdot \left(\frac{\left[\left(\frac{SND_{day} - g_{mon}}{6} \right) \cdot \left(\frac{g_{mon}}{6} \right) + 1 \right]^3 - 1}{g_{mon}} \right) \quad (2)$$

Em que, R_{day} consiste na quantidade de chuva em um determinado dia (mm), μ_{mon} é a média de precipitação diária para o mês (mm), σ_{mon} é o desvio padrão de precipitação diária para o mês (mm), SND_{day} é o desvio padrão normal calculado para o dia e g_{mon} é o coeficiente assimétrico para a precipitação diária no mês.

Após a definição dos cenários a serem utilizados, o projeto será executado e, posteriormente, obtido o balanço hídrico da área

delimitada, apresentada na Figura 4, com ilustração do ciclo hidrológico, além da possibilidade da

obtenção desses dados em formatos de gráficos ou tabelas.

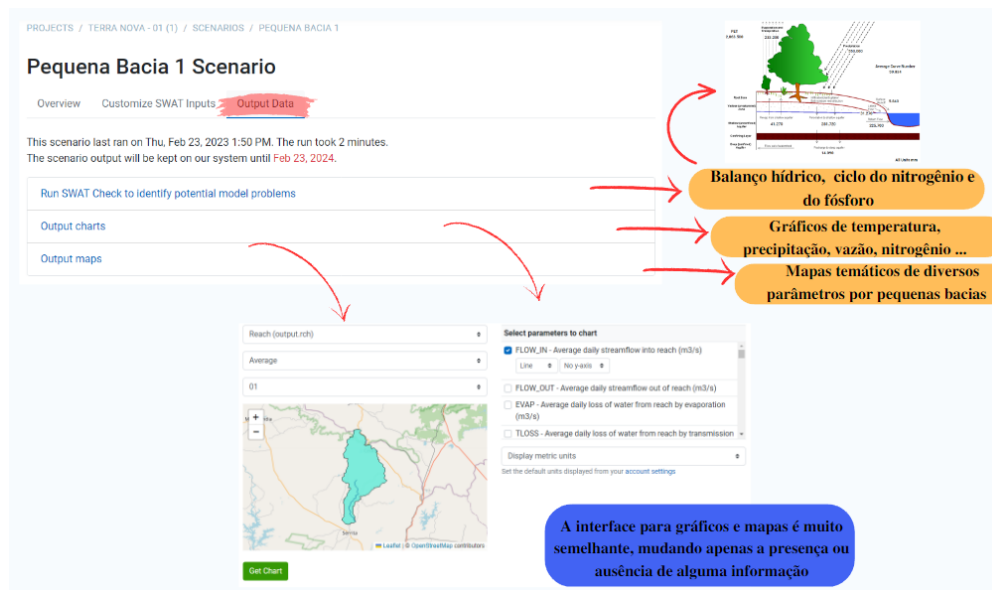


Figura 4. Layouts do SUPER após execução do projeto.

O balanço hídrico no SUPER é estimado através da seguinte equação:

$$V = V_{stored} + V_{flowin} - V_{flowout} + V_{pcp} - V_{evap} - V_{seep} \quad (3)$$

Em que, V é o volume de água no represamento no final do dia (m^3H_2O), V_{stored} é o volume de água armazenada no corpo d'água, no início do dia (m^3H_2O), V_{flowin} é o volume de água que entra no corpo hídrico durante o dia (m^3H_2O), $V_{flowout}$ é o volume de água que sai do corpo hídrico durante o dia (m^3H_2O), V_{pcp} é o volume de precipitação que cai sobre o corpo hídrico durante o dia (m^3H_2O), V_{evap} é o volume de água removida do corpo hídrico por evaporação durante o dia (m^3H_2O), e V_{seep} é o volume de água perdida do corpo hídrico por percolação (m^3H_2O).

O SUPER também apresenta o escoamento de base, estimado por meio da equação a seguir:

$$Q_{gw} = h_{wt} \left(\frac{8000k_{gw}}{L_{gw}^2} \right) \quad (4)$$

Em que, o Q_{gw} representa o fluxo de base, o h_{wt} é a altura do lençol freático em metros, K_{gw} é a condutividade hidráulica do aquífero (mm/day), L_{gw} é a distância da divisão de sub-bacias pelo sistema de águas subterrâneas até o canal principal (m).

Cenários de mudanças climáticas

Os cenários aplicados para análise do balanço hídrico com alterações climáticas foram extraídos de Marengo et al. (2011), que estimam para o semiárido uma crescente em até 4°C para temperatura e redução em até 20% da precipitação. A partir dessas informações foram criados e analisados nove cenários, observando alterações na precipitação e temperatura, apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Cenários de temperatura e precipitação para desenvolvimento do estudo

Cenários	Elevação na temperatura	Redução na pluviosidade
1	1°C	10%
2	3°C	15%
3	4°C	20%
4	1°C	15%
5	3°C	20%
6	4°C	10%
7	1°C	20%
8	3°C	10%
9	4°C	15%

Resultados e discussão

Balanço Hídrico médio anual- Atual

Na Figura 5, a bacia do riacho Amolar (sub-bacia 1 da bacia de Terra Nova no SUPER), em um cenário sem alterações climáticas, apresenta uma precipitação média anual em torno de 691 mm com evapotranspiração potencial de 1.868 mm e evapotranspiração real média anual de 238 mm.

Pode-se perceber que aproximadamente 34% da precipitação é perdida através da evapotranspiração, decorrente das altas temperaturas identificadas na região do semiárido pernambucano. Observa-se que cerca de 57% da

precipitação é percolada, sendo que 9,30% deste percentual retorna à superfície pelas raízes. No que tange o escoamento superficial, constata-se que este detém 14 mm, enquanto que o escoamento lateral ou subsuperficial é de 41 mm. O escoamento de base é de grande relevância, ainda mais tratando-se de uma bacia semiárida, ele corresponde a aproximadamente 49% da precipitação, sendo 338 mm. A aplicação do balanço hídrico se configura como uma ferramenta fundamental para auxiliar na gestão dos recursos hídricos, pois define as características do regime climático de uma região (França et al., 2021).

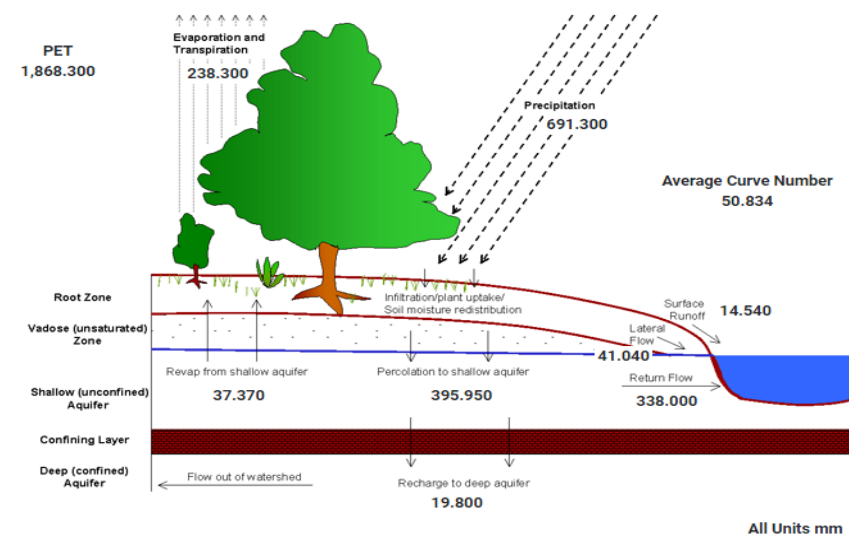


Figura 5 - Balanço hídrico da bacia do riacho Amolar em um cenário sem alteração climática. Fonte: SUPER.

Engelbrecht et al. (2019), em estudo realizado na bacia hidrográfica do rio Cachoeira, sul do estado da Bahia, ao analisarem o balanço hídrico, identificaram média anual de 1170,31 mm para a precipitação, com perda de 85% para a evapotranspiração, equivalente a 993,53 mm. Luz e Galvêncio (2022) utilizaram o SUPeR para analisar o balanço hídrico da bacia do riacho Milagres, localizado na bacia hidrográfica do Terra Nova, semiárido pernambucano. As autoras obtiveram valores de 638 mm para a precipitação média anual, com evapotranspiração potencial de 2676 mm e evapotranspiração real de 260 mm. Soares (2022), ao analisar o balanço hídrico do riacho Cachoeira, afluente da bacia hidrográfica do Pajeú, no sertão pernambucano, constatou que 42 % da precipitação da região é evapotranspirada, em decorrência das condições climáticas da região.

Os meses que foram identificados maiores valores de precipitação foram fevereiro, março e abril. Em apenas um mês, em análise de toda a série histórica, foi observado uma média diária mensal acima de 15 mm, sendo este o mês de janeiro do ano de 2004, com 17 mm aproximadamente.

Pode-se verificar uma diminuição nas precipitações diárias mensais após o ano de 2010, conforme a Figura 6, apontando para valores de 5mm. Marengo (2016) expõe que nesse período houve uma seca severa na região semiárida, devido a alta pressão subtropical mais ativa perto do continente, afetando o regime de chuvas do Nordeste. Silva, Montenegro e Souza (2017) observaram uma tendência de redução dos índices pluviométricos para a região da bacia hidrográfica do Terra Nova, bacia em que está inserido o riacho Amolar, área do presente estudo.

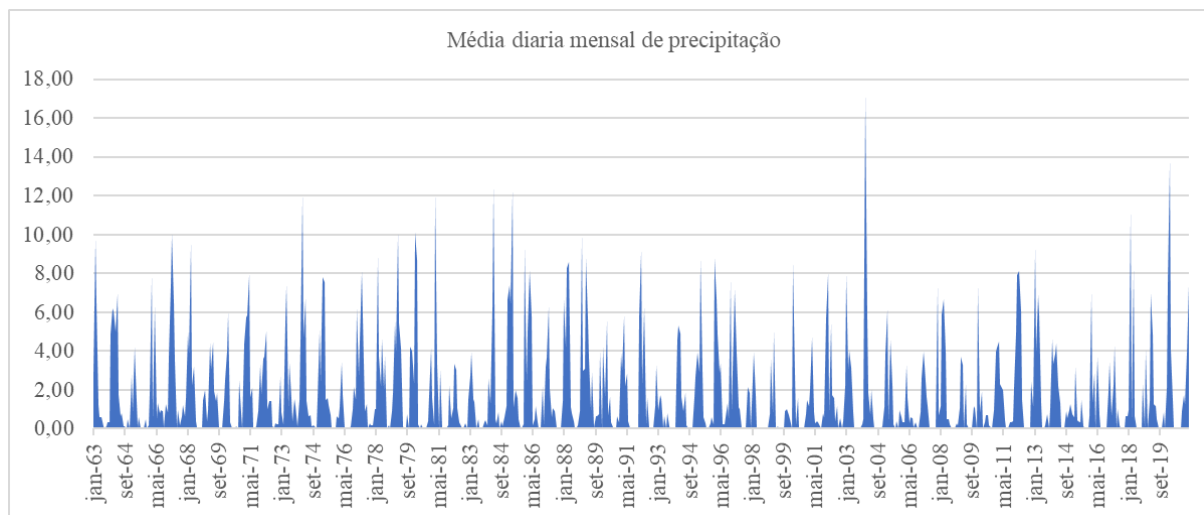


Figura 6. Gráfico de média da precipitação diária mensal.

O semiárido nordestino é suscetível a chuvas intensas, como por exemplo as chuvas ocorridas no ano de 2004 no mês de janeiro, onde a precipitação ultrapassou os 1000 mm. De acordo com Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos - CPTEC/Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, essas chuvas foram causadas pelo transporte de umidade desde o Atlântico tropical e da bacia Amazônica, até o Nordeste (Marengo, et. al.2011)

Em relação à evapotranspiração potencial, esta apresenta valores entre 4 mm e 7 mm de média diária mensal durante a série histórica. De acordo

com a Figura 7, identifica-se uma redução desta variável após o ano de 2010, com valores abaixo de 6 mm. A redução de evapotranspiração potencial após o ano de 2010 se deu como reflexo da seca citada anteriormente, o que resultou em um cenário de estresse hídrico sob a vegetação.

A evapotranspiração potencial refere-se a máxima transpiração alcançada pela vegetação em uma área condições ideais para aquela vegetação, isso permite analisar os níveis de evapotranspiração de acordo com o estado fenológico da vegetação, demanda hídrica e perda de água (Teixeira, 2018)

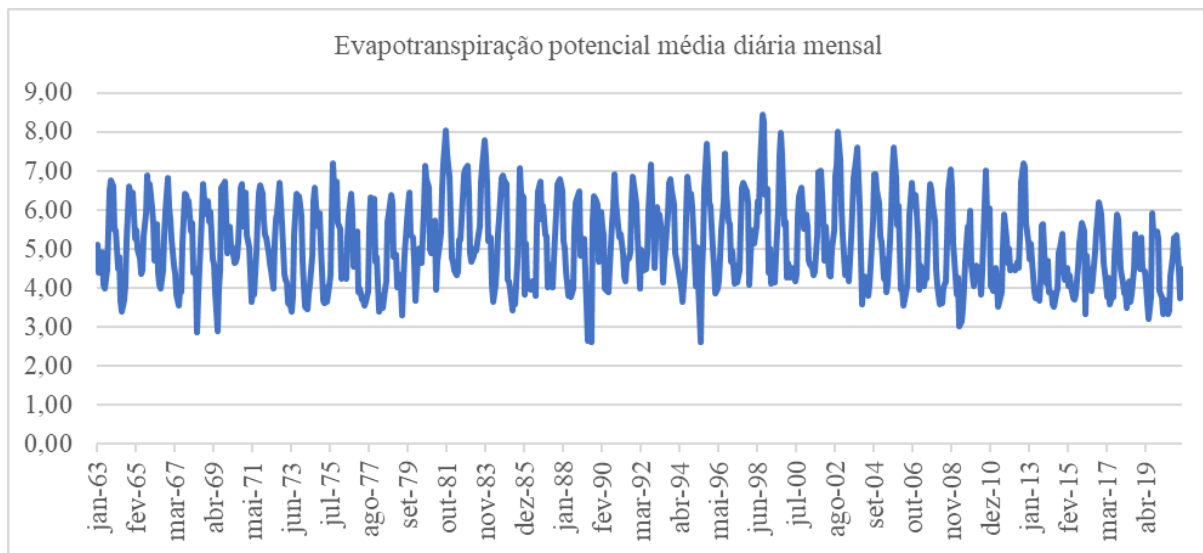


Figura 7. Evapotranspiração potencial média diária mensal.

Brito et al. (2020) aponta que, dos componentes do ciclo hidrológico, a evapotranspiração é um dos mais relevantes, por representar a saída de água dos processos por meio da transpiração vegetal e evaporação do solo. Para a evapotranspiração real (Figura 8), nota-se uma média diária mensal entre 1 e 2 mm. Valores abaixo de 1 mm podem ser observados entre os meses de julho e novembro, período mais seco na área

analisada. Tem-se uma redução das taxas de evapotranspiração depois do ano de 2010, em concordância com a progressão dos anos secos, que representam uma perda significativa na disponibilidade hídrica da bacia. Moura et al. (2019) evidenciam que informações sobre a evapotranspiração, podem contribuir para a identificação das áreas mais suscetíveis ao déficit hídrico.

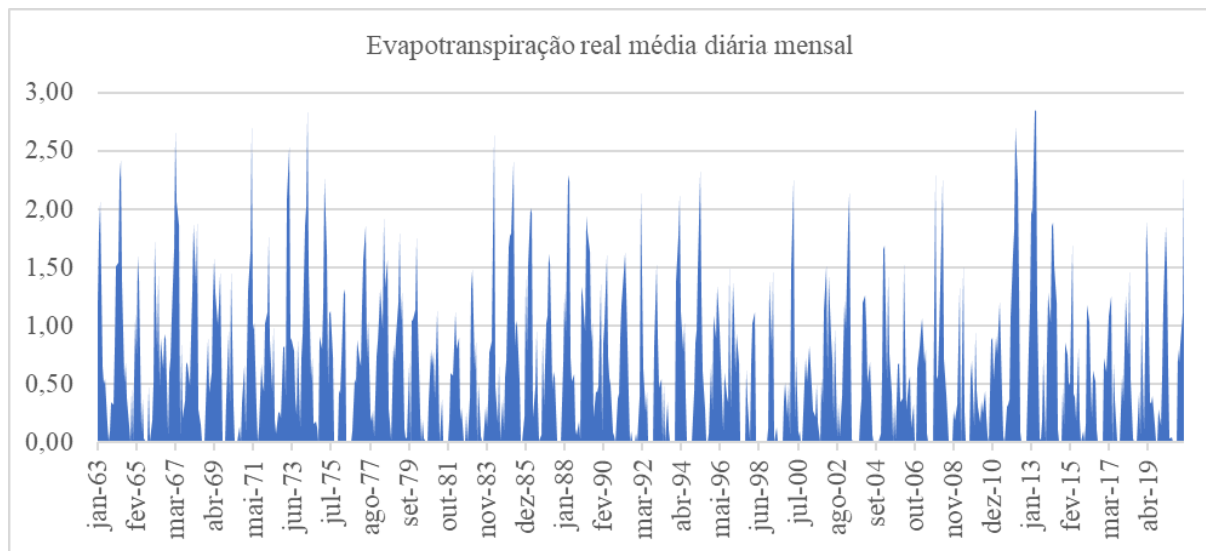


Figura 8. Evapotranspiração real média diária mensal.

O fluxo de base são águas subterrâneas armazenadas que escoam de maneira lenta em relação às precipitações e o escoamento superficial, é fundamental conhecer o fluxo de base, tanto para avaliação da qualidade de água quanto para alocar abastecimento (Eckhardt, 2008) (Luo et al, 2012). O fluxo de base ou escoamento de base é fundamental para os usos diversos na região

semiárida, tendo em vista que no período seco por conta das elevadas temperaturas muitas das águas superficiais são evapotranspiradas, logo as águas subterrâneas auxiliam na demanda hídrica, principalmente no período seco. A Figura 8 mostra em diversos momentos na série a média diária mensal do fluxo de base é próximo ou igual a zero mm, mas tendo uma média próxima a 3 mm, tendo

em vista a informação do balanço hídrico da série, nota-se que o escoamento de base é o grande responsável por reter 49% da precipitação, ou seja,

do percentual que não é evapotranspirado a maior parte está no escoamento de base.

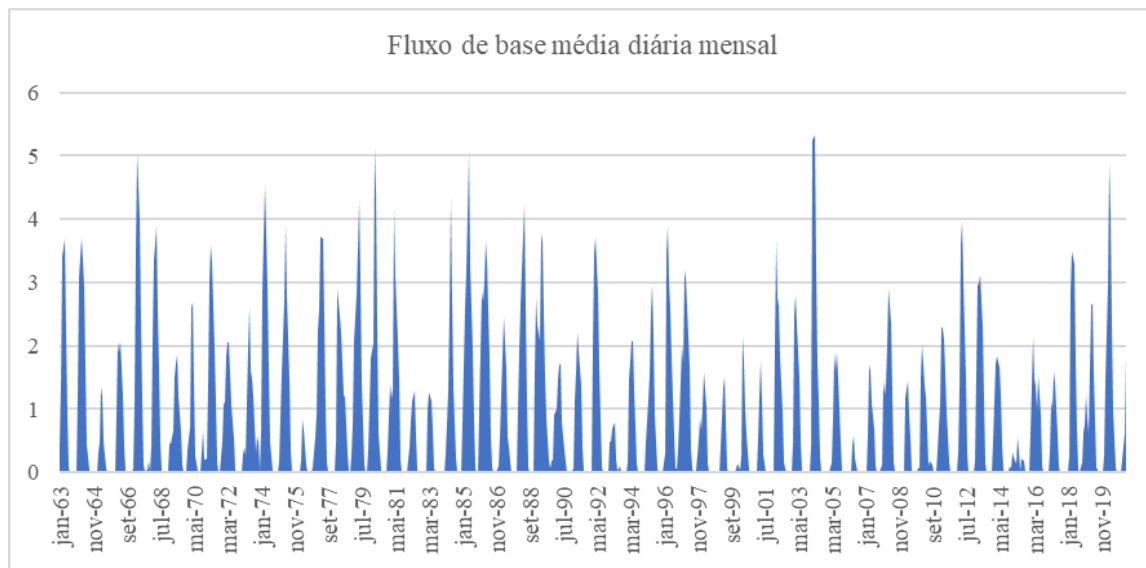


Figura 8. Fluxo de base média diária mensal

O IPCC (2022) tem alertado sobre como as mudanças climáticas podem impactar diretamente os recursos hídricos, já que estas podem alterar os processos do ciclo hidrológico da água, como a precipitação, o escoamento superficial e a temperatura. As modificações do clima de uma região ameaçam o desenvolvimento sustentável, visto que afeta direta ou indiretamente a população.

Quantificar e avaliar o balanço hídrico frente às mudanças climáticas possibilitam a avaliação da oferta de água para a manutenção das populações (Jesus et al., 2017, Brito et al., 2020). Conforme as Figuras 10 a 18, tem-se os balanços hídricos gerados após a aplicação dos cenários de mudanças climáticas, seguindo a bibliografia de Marengo (2011).

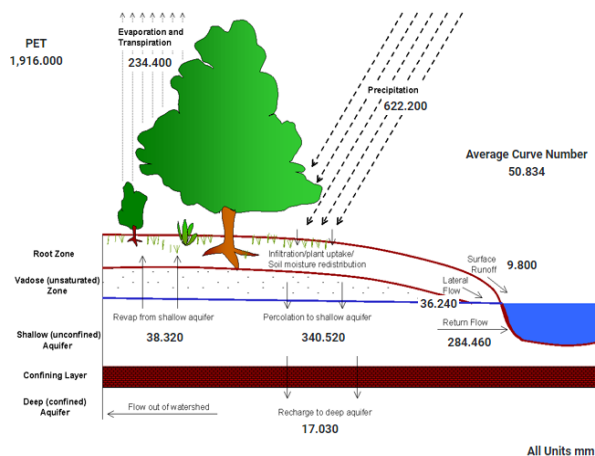


Figura 10. Balanço hídrico cenário 1.

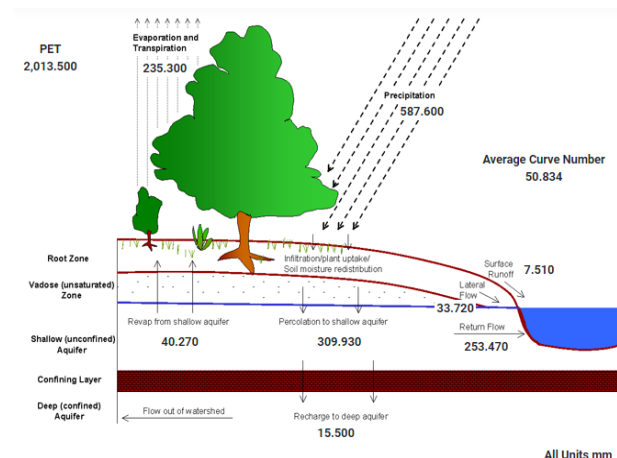


Figura 11. Balanço hídrico cenário 2.

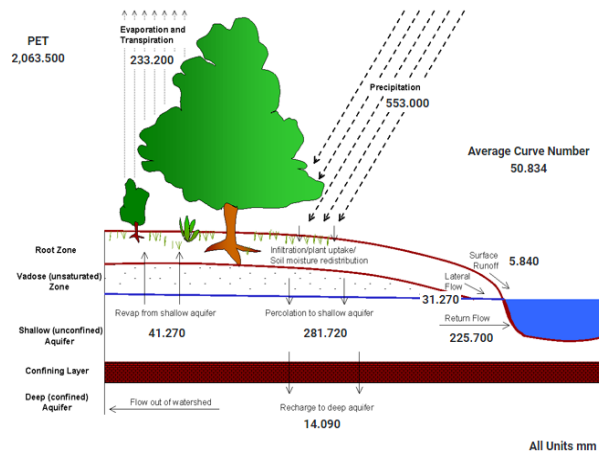


Figura 12. Balanço hídrico cenário 3.

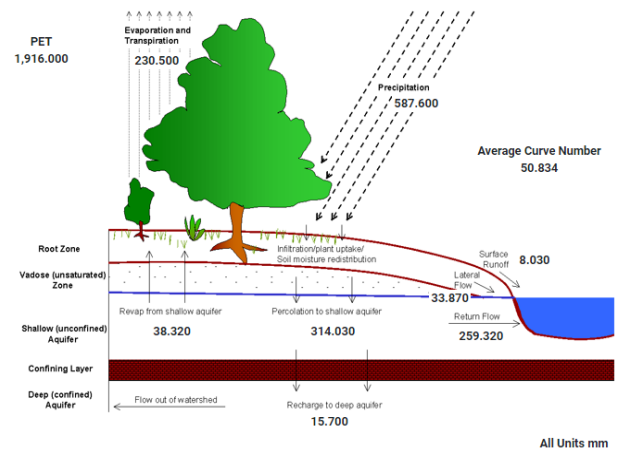


Figura 13. Balanço hídrico cenário 4.

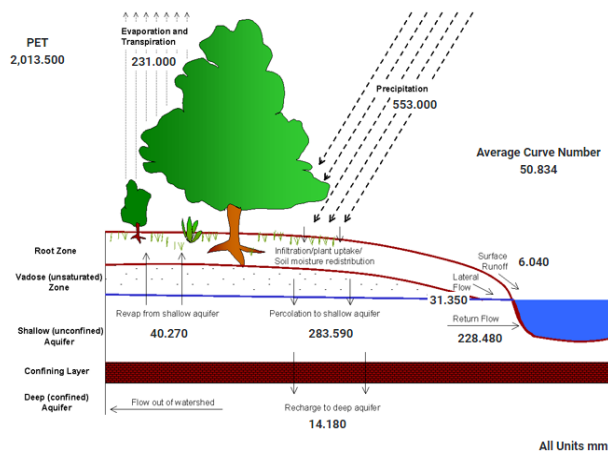


Figura 14. Balanço hídrico cenário 5.

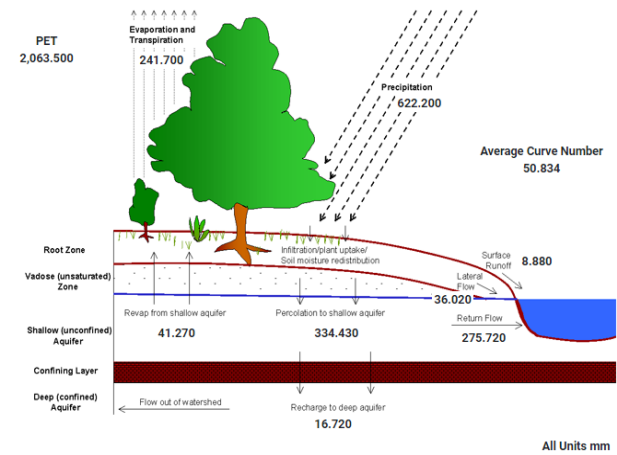


Figura 15. Balanço hídrico cenário 6.

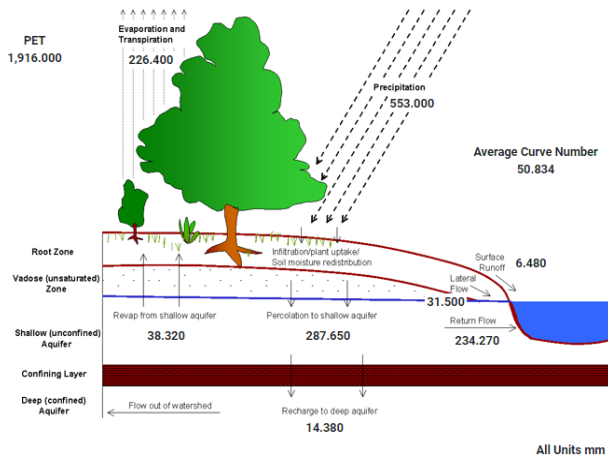


Figura 16. Balanço hídrico cenário 7.

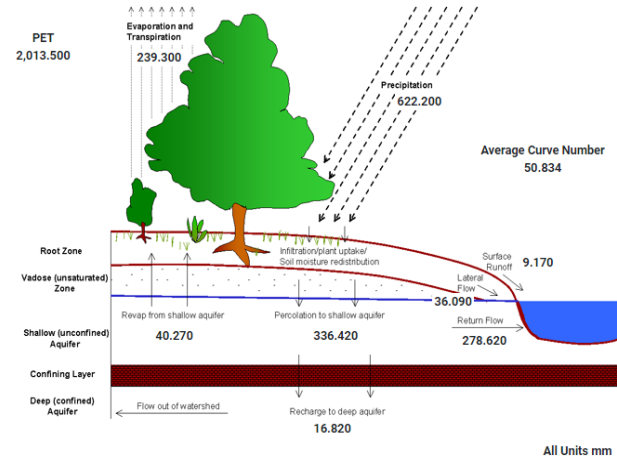


Figura 17. Balanço hídrico cenário 8.

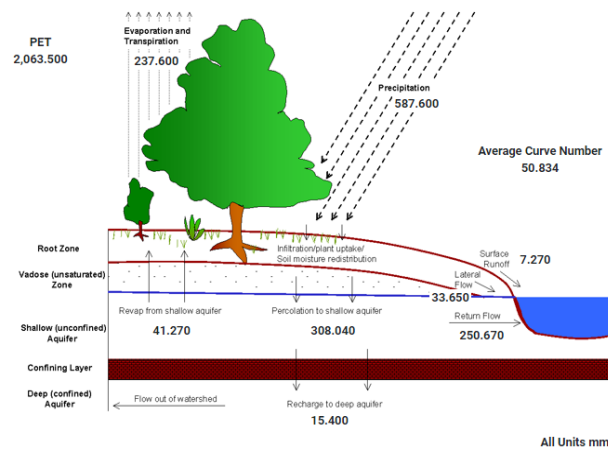


Figura 18. Balanço hídrico cenário 9.

Observando as variáveis que compõem o balanço hídrico e suas variações, conforme os cenários de alterações climáticas (Tabela 2), pode-se constatar uma relação proporcional entre a evapotranspiração e a temperatura. Em cenários climáticos que se tem um aumento da temperatura,

percebe-se o crescimento proporcional da evapotranspiração, independente dos índices pluviométricos aplicados.

Tabela 2. Alteração da evapotranspiração entre cenários e o balanço atual.

	Evapotranspiração Potencial	Evapotranspiração Real
Cenário 1	+2,5%	-1,5%
Cenário 2	+7,7%	-1,3%
Cenário 3	+10,4%	-2,2%
Cenário 4	+2,5%	-3,4%
Cenário 5	+7,7%	-3%
Cenário 6	+10,4%	+1,2%
Cenário 7	+2,5%	-5%
Cenário 8	+7,7%	+0,4%
Cenário 9	+10,4%	-0,4%

Observando os dados de de evapotranspiração potencial nos cenários presentes na Tabela 2, é notável que a variação na evapotranspiração potencial se deu de acordo com a variação de temperatura, nos cenários onde a temperatura subiu a evapotranspiração potencial aumentou, isso independentemente dos índices pluviométricos, assim os maiores índices de evapotranspiração potencial se deram nos cenários onde a temperatura aumentou 4°C.

Villa et al. (2022) apontam que a evapotranspiração é uma variável fundamental, por representar a saída de água do ciclo hidrológico, seja pela evaporação do solo e/ou transpiração vegetal. No presente estudo, as variações na evapotranspiração real (Tabela 2) identificadas nos

cenários de mudanças climáticas apresentam redução quando comparadas ao cenário de referência, exceto pelos cenários 6 e cenário 8. Com uma redução não tão significativa no regime de chuvas, sendo este de 10 % em ambos os cenários, e um aumento em 4°C e 3°C para os cenários 6 e 8, nesta ordem, pode-se perceber que com uma maior presença de energia no sistema, há uma crescente na evapotranspiração real.

Tabela 3. Perda da precipitação por evapotranspiração real em cada cenário.

Cenários	Referência	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Perda	34,4%	37,6%	40%	42,1%	39,1%	41,7%	38,7%	40,8%	38,4%	40,3%

Porém, mesmo a evapotranspiração real apresentando valores menores do que o atual, o percentual de perda por evapotranspiração dentro da bacia será proporcionalmente maior, como mostrado na Tabela 3, se for comparada de maneira proporcional a perda de água da precipitação através da evapotranspiração, apresentados na Tabela 4, entre o cenário de referência e os cenários gerados é que se terá o real impacto das mudanças climáticas no balanço hídrico.

No cenário de referência, dos 691 mm de precipitação total da bacia, tem-se que 34% é perdido por meio da evapotranspiração, o equivalente a 238mm. Quando comparado ao cenário mais crítico deste estudo, o cenário 3 (aumento em 4°C da temperatura e redução de 20% da precipitação), apresentou 533 mm de precipitação total. Neste cenário a perda por evapotranspiração foi ainda maior, totalizando 233

mm, o que corresponde a 42,1%. Pode-se constatar que as maiores perdas por evapotranspiração acontecem nos cenários onde a elevação da temperatura foi de 4°C. Segundo Marengo (2011), a elevação da temperatura, proveniente das mudanças climáticas, seriam suficientes para aumentar a evaporação da água dos rios, lagos e açudes, bem como da evapotranspiração das plantas.

Quanto à percolação, nota-se uma diminuição em todos os cenários gerados, apresentando as maiores reduções nos cenários 3, 5 e 7 (Tabela 4) onde a precipitação foi reduzida em 20%, isso indica uma redução tanto no escoamento lateral (Tabela 5) quanto no fluxo de base (Tabela 6), o que indica menor disponibilidade hídrica, tendo em vista que as águas subterrâneas são fundamentais para usos diversos no semiárido.

Tabela 4. Percolação.

Cenários	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Redução	-14%	-21,8%	-28,8%	-20,5%	-28,4%	-15,5%	-27,4%	-15%	-22%

O escoamento lateral apresentou pouca alteração diante das mudanças na temperatura, mas ficou claro que quanto menor a pluviosidade maior a redução, se dando pelo fato de menor percolação

no solo, logo dentro do balanço hídrico nem todos componentes serão afetados pela variação na temperatura, porém, todo sistema é afetado por qualquer redução na pluviosidade.

Tabela 5. Escoamento Lateral.

Cenários	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Redução	-12,5%	-19,6%	-24,4%	-19,5%	-24,4%	-12,2%	-24,4%	-12,2%	-19,6%

O fluxo de base apresentou como as demais componentes do balanço hídrico que não ocorrem na superfície uma alteração leve em relação a variação na temperatura, os cenários com menor elevação na temperatura (1, 6 e 8) apresentaram uma menor redução, já os cenários (3, 5 e 7) onde a redução na precipitação foi de 20% apresentaram os cenários mais drásticos de

redução no fluxo de base, ultrapassando os 30% de redução no escoamento de base, tendo como comparação o cenário de referência e o cenário 3, houve uma redução de 33,5%, ou seja, menos 113 mm a menos de fluxo de base.

Tabela 6. Fluxo de Base

Cenários	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Redução	16%	25,1%	33,5%	23,4%	32,6%	18,7%	30,8%	17,8%	20%

Conclusões

Os resultados obtidos pelo presente estudo apontam para um cenário de alerta, onde pode haver uma considerável redução na disponibilidade hídrica na bacia do riacho Amolar. Tendo em vista que se trata de uma região agrícola, pode-se impactar a produção agrícola nessa área e causar impactos sociais e econômicos.

O PISF-Projeto de Integração do São Francisco pode vir a minimizar os impactos dessas mudanças climáticas na região, entretanto não podem atender toda a região, logo são necessários pensar ferramentas que possam mitigar os impactos das mudanças climáticas sob a região, em especial pequenas bacias com características específicas.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e ao Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelas bolsas concedidas aos autores.

Referências

- Angelotti, F., Signor, D., Giongo, V. 2015. Mudanças Climáticas no Semiárido Brasileiro: experiências e oportunidades para o desenvolvimento. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 8, 1097-1111. <http://dx.doi.org/10.26848/rbgf.v8.0.p484-495>.
- Brito, T. R. C., Lima, J. R. S., Oliveira, C. L., Souza, R. M. S., Antonino, A. C. D., Medeiros, E. V., Souza, E. S., Alves, E. M. 2020. Mudanças no Uso da Terra e Efeito nos Componentes do Balanço Hídrico no Agreste Pernambucano. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 13, 870-886. <http://dx.doi.org/10.26848/rbgf.v13.2.p870-886>.
- Carmo, M. V. N. S., Lima, C. H. R. 2020. Caracterização Espaço-Temporal das Secas no Nordeste a partir da Análise do Índice SPI. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 35, 233-242. <http://dx.doi.org/10.1590/0102-7786352016>.
- Dias, E. M. S., Pessoa, Z. S., Teixeira, R. L. P. 2022. Adaptive governance and water security in the context of climate change in the semi-arid. *Mercator*, 21, 1-11. <http://dx.doi.org/10.4215/rm2022.e21025>.
- Engelbrecht, B. Z., Gonçalves, R. D., Teramoto, E. H., Chang, H. K. 2019. Disponibilidade Hídrica E Balanço Hídrico Da Bacia Do Rio Cachoeira Na Região De Itabuna/BA. *Geosciences = Geociências*, 38, 731-740. <http://dx.doi.org/10.5016/geociencias.v38i3.13806>.
- Franca, M. V., Medeiros, R. M., Holanda, R. M., Saboya, L. M. F., Rolim Neto, F. C., Pereira, M. L. F., Araújo, W. R. 2021. Balanço Hídrico Atual E Futuro Para A Cultura Do Algodão Em Amparo De São Francisco-SE. *Recima21 - Revista Científica Multidisciplinar* - 2, 1-9. <http://dx.doi.org/10.47820/recima21.v2i5.311>.
- Galvêncio, J. D. 2019. Estimativa da temperatura da superfície com imagens obtidas com drones. *Journal Of Hyperspectral Remote Sensing*, 9, 397-406.
- Galvêncio, J. D. 2021. Impacto do aumento de CO₂ nas Precipitações do estado de Pernambuco. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 14, 1828-1839. <http://dx.doi.org/10.26848/rbgf.v14.3.p1828-1839>.
- Gomes, D. J. C., Lima, A. M. M., Soares, C. S. T., Ferreira, N. S. 2020. Influência Do Uso E Cobertura Da Terra Associados A Eventos Climáticos Em Sistemas Hidrometeorológicos. *Revista Geográfica Acadêmica*, 13, 21-36.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Cedro. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pe/cedro>. Acesso em: 21 mar. 2023.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Serrita. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pe/serrita>. Acesso em: 21 mar. 2023.
- IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. The Sixth Assessment Report: The numbers behind the science. Geneva, Switzerland. 2022.
- Jesus, T. C. L., Senna, M. C. A., Cataldi, M., Paiva, C. M., Franz, B. 2017. Impacto do Aumento da Concentração Atmosférica de Co₂ no Balanço Hídrico Climatológico do Cerrado. *Revista Brasileira de Climatologia*, 21, 313-326. <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v21i0.46432>.
- Luz, G. G., Galvêncio, J. D. 2022. Balanço hídrico superficial da bacia hidrográfica do riacho Milagres-PE, utilizando o SUPeR. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 15, 1094-1107.

- <http://dx.doi.org/10.26848/rbgf.v15.2.p1094-1107>.
- Marengo, José A. et al. 2011. Variabilidade e mudanças climáticas no semiárido brasileiro. In: Medeiros, Salomão de Sousa; GHEYI, Hans Raj; Galvão, Carlos de Oliveira; PAZ, Vital Pedro da Silva. Recursos hídricos em regiões áridas e semiáridas. Campina Grande: Instituto Nacional do Semiárido, 2011. p. 470. (ISBN 978-85-64265-011).
- Marengo, J. A., Cunha, A. P., Alves, L. M. 2016. A seca de 2012-15 no semiárido do Nordeste do Brasil no contexto histórico. Revista Climanalise, 3, 49-54.
- Moura, M. S. B., Espínola Sobrinho, J., Silva, T. G. F., Souza, W. M. 2019. Aspectos meteorológicos do Semiárido brasileiro. In: XIMENES, Luciano Feijão; Silva, Maria Sonia Lopes da; BRITO, Luiza Teixeira de Lima (ed.). Tecnologias de convivência com o semiárido brasileiro. Fortaleza: Banco do Nordeste, 2019. p. 1116. (ISBN: 978-85-68360-28-6).
- Reis Neto, A. F., Correia, S. O., Alves, S. G., Souza, W. M., Galvêncio, J. D., Araujo, M. S. B. 2018. Mudanças climáticas, Eventos extremos e Deslocados ambientais: caso Palmares/PE. Revista Movimentos Sociais e Dinâmicas Espaciais, 7, 210-228.
- Silva, R. O. B., Montenegro, S. M. G. L., Souza, W. M. 2017. Tendências de mudanças climáticas na precipitação pluviométrica nas bacias hidrográficas do estado de Pernambuco. Engenharia Sanitária e Ambiental, 22, 579-589, <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522017142481>.
- Soares, G. A. S. 2023. Segurança hídrica no Semiárido: Análise sistêmica das características físicas e hidroclimáticas da bacia hidrográfica do Riacho Cachoeira, Serra Talhada/PE e percepções sobre a formação docente. Trabalho de Conclusão de Curso de Geografia. Recife, Universidade Federal de Pernambuco. <https://attena.ufpe.br/handle/123456789/49523>
- Villa, B., Petry, M. T., Martins, J. D., Tonetto, f., Tokura, L. K., Moura, M. B., Silva, C. M., Gonçalves, A. F., Cerveira, M. P., Slim, j. e., Santos, M. S., Bellé, M. G., Jimenez, D. H. 2022. Balanço hídrico climatológico: uma revisão. Research, Society And Development, 11, 1-9. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v11i6.26669>.